

液体金属の陽電子消滅

著者	伊藤 文武
号	366
発行年	1977
URL	http://hdl.handle.net/10097/11315

氏 名	い とう ふみ たけ 伊 藤 文 武
授 与 学 位	工 学 博 士
学 位 授 与 年 月 日	昭 和 5 3 年 1 月 1 1 日
学 位 授 与 の 根 拠 法 規	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 3 9 年 3 月 京 都 大 学 大 学 院 理 学 研 究 科 化 学 専 攻 修 士 課 程 修 了
学 位 論 文 題 目	液 体 金 属 の 陽 電 子 消 滅
論 文 審 査 委 員	東 北 大 学 教 授 鈴 木 謙 爾 東 北 大 学 教 授 井 垣 謙 三 東 北 大 学 教 授 平 林 真 東 北 大 学 教 授 平 野 賢 一

論 文 内 容 要 旨

物質中に打込まれた陽電子は、熱エネルギー程度に減速されてから有限の寿命の後、物質内電子と対消滅して2本のガンマ線を放出する。放出される2本のガンマ線のなす相関角と物質内電子の運動量との間に存在する対応関係を利用して、物質内電子の運動量分布を調べようとする試みは陽電子角度相関と呼ばれ、多方面の研究分野で活用され重要な成果をあげている。

本研究は、日本原子力研究所材料試験炉（JMT-R）の炉内照射により、強力な比放射能を持つ陽電子源 Cu^{64} を作成し、これを使って液体金属の陽電子消滅の系統的研究結果をまとめたもので、全編8章より成っている。

第I章は序論であり、本研究の背景と液体金属について従来なされた研究結果を概説し、さらに本研究の目的と意義を述べたものである。

陽電子は正の電荷を持つために陽イオンから遠ざかる性質を持ち、物質中の欠陥やイオン配列の変化によってその挙動を異にする。本研究は著しく乱れたイオン配列を有する液体金属におけ

る陽電子の挙動を実験的、理論的に考察し、陽電子消滅法の液体金属研究への適用性を系統的に調べようとするものである。

第Ⅱ章では本研究で用いた角度相関の原理と実験方法を述べたものである。

第1節では、角度相関の原理とその特徴を述べ、電子状態を調べる他の類似の手段との比較を行なっている。

第2節では材料試験炉を利用して製造される陽電子源 Cu^{64} の性質と特徴、ならびにその利用方法について述べた。

第3節では製作、使用した角度相関曲線測定装置を機械的構成と電子回路にわけて詳述した。

第4節は本装置の機械的構成と電子回路の調整方法とその性能について述べた。

第5節では、具体的な実験手順と得られた実験値から角度相関曲線を導出する方法を述べた。

第Ⅲ章は陽電子が物質中の欠陥に捕獲される現象を実験と理論の両面から概説し、液体金属における陽電子の挙動を記述するための新たな理論を提唱したものである。

第1節では、固体金属で見い出されている陽電子の捕獲現象を整理し、液体金属の価電子数ならびにイオン半径との関連を検討した。

第2、3節は捕獲状態にある陽電子状態を周囲の電子分布と自己無撞着に決定する方法を提唱し、これに基づいて角度相関曲線と陽電子寿命を計算する方法を述べた。

第4節では液体金属中における陽電子捕獲の可能性をイオン配列の空間的ならびに時間的揺動を考慮して一般的な考察を行った。

第Ⅳ章は、液体Gaの陽電子消滅の実験とその理論的考察について述べたものである。

第1節では従来の研究の背景と本章の目的を述べた。すなわち、Gaは液体状態になると電子密度が増加するにもかかわらず、従来の陽電子消滅の実験事実はこれと正反対の傾向を示している。この矛盾を解決するのが本章の主な目的である。

第2節では液体試料測定用真空装置、陽電子源の装着、試料容器など実験方法などを述べた。

第3節では液体Gaの角度相関曲線が温度上昇にともない鋭くなる実験事実を見い出し、この事実から陽電子が液体Ga中の平均より稀薄な電子密度の部分で消滅することが推論された。

第4節では液体Ga中の陽電子の挙動をさらに明確にするために、固体および液体Gaについて行なったコンプトン散乱実験の結果を述べた。これにより(i)液体Gaのフェルミ波数が固体Gaのそれより大きいこと、および(ii)液体Ga中の陽電子の存在密度は一様ではなく原子間空隙で高くなる事が明らかにされた。

第5節では、第Ⅲ章で提唱された自己無撞着な陽電子トラッピングモデルに基づいた数値計算による実験事実の検討を行なった。その結果液体Ga中に原子容程度の空隙を仮定すると角度相関曲線ならびに陽電子寿命がほぼ説明できることがわかった。

第 6 節では中性子回折により求められた動径分布関数を用いて、液体金属中の空間的空隙の存在の可能性を検討した。

第 7 節はこの章の結論と問題点をまとめたものである。

第 V 章は液体 Cu の角度相関についての研究を述べたものである。

第 1 節では、この章の目的を述べた。すなわち、室温から液体状態に至る角度相関曲線を研究することによって、液体状態における Cu の陽電子消滅の機構を調べることが目的である。

第 2 節では本章の実験方法を述べた。陽電子源の使用法は Cu^{64} を試料に内蔵させる内部線源法で、これにより精度の良い実験値が得られた。内部線源法にともなう問題点についても述べた。

第 3 節では、固体状態から液体状態にわたる角度相関曲線の温度変化に関する実験について述べた。これにより角度相関曲線の形が $600 \sim 800^\circ\text{C}$ の温度範囲で一度急激に変化すること、そして融点で再び大きく変化する事実が明らかにされた。

第 4 節では、実験結果の検討をのべた。すなわち、固体状態における温度変化は、従来の現象論的トラッピングモデルにより陽電子が熱的平衡状態にある点欠陥に捕獲されるためであること、また液体状態の角度相関曲線は Ga の場合と同様に自己無撞着なトラッピングモデルで解析され、液体 Cu においては平均原子容の $2 \sim 3$ 倍の容積をもつ空隙に陽電子が捕獲されることが結論された。

第 5 節では、この章の結論と問題点をまとめた。

第 VI 章は、液体 Cu に数種の合金元素 (Ag, Zn, Al, Ge, Sn, Pb および Bi) を $5 \sim 10$ at. % 添加した時、角度相関曲線に与える影響についての研究結果を述べたものである。

第 1 節では、この章の目的を述べた。すなわち、合金元素の価電子数、イオン半径、陽電子親和力などが母金属の角度相関曲線に及ぼす影響を系統的に調べることが目的である。

第 2 節では実験方法を述べた。

第 3 節では実験結果を述べたものであり、その結果、角度相関曲線への影響は合金元素の価電子数とともに増加するが、特に Pb, Bi の効果が著しいことがわかった。

第 4 節では合金元素の影響を項目別に検討した結果を述べている。すなわち、(i)合金元素のイオン半径はあまり重要な要因になり得ないこと、(ii)価電子数は定性的に実験事実の傾向と一致するが定量的な説明が困難であること、(iii)陽電子親和力の検討から、これら合金において陽電子が Cu 元素に集中する傾向を持つことが導かれ、合金の陽電子消滅を論ずる場合重要になり得るものの、本研究の実験事実を説明するには充分でないこと、などが議論された。

第 5 節では合金元素添加効果の影響として、本研究の場合合金化にともなうイオン配列の変化の重要性が示摘された。

第 6 節に、この章の結論と問題点をまとめて述べた。

第Ⅶ章は液体Cu—Bi および液体Cu—Sn 二元合金系の角度相関曲線に関する研究を述べたものである。

第1節ではこの章の目的を述べた。すなわち、液体状態におけるCu—Bi およびCu—Sn 合金は電子論的性質、熱力学的性質、原子配列などに関して著しく対照的な組成依存性を示す合金であり、これらの現象と比較しつつ合金系での陽電子消滅の機構を明らかにするのが、この章の目的である。

第2節では実験方法を述べた。

第3節は、両合金系の実験結果を述べたものであり、角度相関曲線、 h —パラメーター、フェルミ波数の組成依存性などが示され、それぞれ特異な組成依存性を持つことが判明した。

第4節では、実験結果を説明するために、二元合金系における陽電子の空間分布を角度相関曲線から求める方法を提案し、これに基づいて解析した結果、特に液体Cu—Bi 合金では陽電子がBi 側に優先的に分布することが明らかにされた。

第5節では両合金における陽電子の空間分布の仕方から特に液体Cu—Bi 合金では同種原子の会合状態の存在が予想され、それが中性子回析による構造因子の解析結果とよく対応することが示された。

第6節には、この章の結論と問題点をまとめた。

第Ⅷ章は総括であり、本研究によって得られた実験結果とそれらに対する考察をまとめ、かつ本研究の今後の問題点を整理して述べたものである。

以上要するに、本論文は陽電子消滅法による金属物性研究の中で比較的研究がおこなわれている液体金属をとりあげて系統的な実験と考察を行なったもので、得られた結論は、今後の液体金属の電子状態や構造の研究にとって非常に有益なものであると考えられる。

審 査 結 果 の 要 旨

近年、陽電子消滅は結晶状態にある合金のフェルミ面や格子欠陥の研究など金属学の諸分野で広く応用され、貴重な成果を挙げている。ところが金属の液体状態における陽電子の挙動については極めて限られた知識しか現在得られておらず、陽電子消滅が液体金属の構造や電子状態の研究にどのように役立ち得るかを先ずもって明らかにすることが肝要である。本論文はかかる観点に立脚して、融点まで陽電子の消滅機構が全く変化しない金属群の代表として Ga および連続的变化を示す代表として Cu，また合金系として Cu 合金系をそれぞれ取り上げて、それらの液体状態における陽電子消滅角度相関実験を行った研究の結果をとりまとめたもので、全編 8 章より成る。

第 1 章は序論であり、本研究の目的と意義を述べたものである。

第 2 章では、本研究において行われた陽電子消滅角度相関実験の原理と方法および実際に製作使用された測定装置の性能が述べられている。

第 3 章では、液体金属における陽電子捕獲の可能性をイオン配列の空間的・時間的揺動にもとづいて考察し、その挙動を記述する理論を提唱している。

第 4 章は、液体 Ga の陽電子消滅の実験結果およびその理論的考察を述べたものである。すなわち、液体 Ga の角度相関曲線が温度上昇にともない鋭くなる実験事実から、陽電子が液体 Ga 中に存在する平均原子容程度の空隙に束縛されて消滅することが結論されている。

第 5 章では、結晶状態から液体状態までの温度範囲にわたり Cu の陽電子消滅角度相関を測定した結果にもとづき結晶状態におけると同様に液体状態においても角度相関曲線は捕獲模型により説明されることを示し、さらに液体 Cu の場合には液体 Ga の場合と異なり、捕獲中心の体積の推定値が平均原子容の 2 ～ 3 倍となることを示している。

第 6 章は、液体 Cu に Ag, Zn, Al, Ge, Sn, Pb および Bi をそれぞれ 5 ～ 10 at. % 添加した時、角度相関曲線に現われる影響について述べたものである。すなわち、これら添加元素のイオン半径、価電子数および陽電子親和力はいずれも実験事実を説明するには十分ではなく、合金化にともなうイオン配列の変化が重要であることを指摘している。

第 7 章では、液体 Cu - Sn および Cu - Bi 合金系における角度相関曲線についての研究結果を述べている。その組成依存性は両合金系において、それぞれ独特な挙動を示すことが見い出され、特に Cu - Bi 系では陽電子が平均合金濃度から期待されるよりもはるかに高い割合で Bi に捕獲されることから、同種原子の会合している状態が液体において存在することを推論している。

第 8 章は総括である。

以上要するに本論文は液体 Ga , Cu および Cu 合金の陽電子消滅角度相関を測定し, 液体金属における陽電子捕獲の機構を解明し, 液体合金の微小領域構造に関する知見を得る新たな道を切り開いたもので, 金属工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって, 本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。